

Biopolttoaineiden merkitys energiantuotannon päästöissä

Sanja-Maria Olli
Kandidaatintutkielma
2018
Kemian tutkinto-ohjelma
Oulun yliopisto

SANASTOA

Alkalikorroosio= alkalimetalliyhdisteet vahingoittavat kattiloiden metallipintoja

Agglomeraatio= petihiekkajyvästen yhteen liimautuminen

Seospoltto= useamman polttoaineen samanaikainen polttaminen kattilassa

RES= Renewable Energy Sources eli uusiutuvat energialähteet

PCA= Principal component analysis eli pääkomponenttianalyysi

Kokopuuhake= karsimaton puuaines

Rankahake= karsituista rangoista koostuva puuaines

Hakkuu-/ metsätähdehake= latvoista, oksista, raivauspuusta koostuva puuaines

Hakkuutähdekantohake/ -murske= kannoista koostuva puuaines

PAH= Polycyclic aromatic hydrocarbon eli polyaromaattiset hiilivedyt

Pyrolyysi= Biomassan polttoaineen termisen hajoaminen hapettomissa olosuhteissa

GHG= Greenhouse gas eli kasvihuonekaasu

Sisällysluettelo

| | |
|---|-----------|
| Esipuhe | 4 |
| 1. Johdanto..... | 4 |
| 2. Palamisen kemia | 5 |
| 3. Biopolttoaineet..... | 6 |
| 3.1. Polttoaineiden valinta | 10 |
| 3.2. Polttoaineen laadun analyysit | 11 |
| 4. Päästöt | 14 |
| 4.1. CO ₂ -, SO ₂ - ja NO _x -päästöt | 15 |
| 4.2. Muita haitallisia päästöjä | 16 |
| 4.3. Päästöpolitiikka Suomessa | 18 |
| 5. Polttoprosessien ongelmat ja niiden ratkaisut | 19 |
| 5.1. Tuhkan muodostuminen..... | 19 |
| 5.2. Ratkaisuja | 21 |
| 5.2.1. Esikäsittely | 23 |
| 6. Polttotekniikat ja -tavat | 24 |
| 6.1. Seospoltto | 25 |
| 7. Tulevaisuus ja yhteenveto | 27 |
| 8. Kirjallisuusviitteet..... | 29 |
| 9. Liitteet | 32 |

Esipuhe

Syy sille, että kandidaatintutkielmani käsittelee biopolttoaineita ja niiden analyyseja energiantuotannossa sekä polttoprosesseja ja voimalaitosten päästöjä, on työharjoittelukokemukseni. Olen saanut edelliset kaksi vuotta työskennellä laboranttiharjoittelijana voimalaitoksen laboratoriossa. Siellä osa päivittäin suorittamistani analyysistä on esitelty tässä työssä. Harjoittelussa kiinnostuin syihin analyysien suorittamisen taustalla saaden kipinän kirjoittaa myös tutkielmani aiheesta.

1. Johdanto

Biopolttoaineiden polttaminen voimantuotannossa on noussut tärkeäksi vaihtoehdoksi fossiilisten polttoaineiden tilalle. Biopolttoaineet korvaavatkin vauhdilla väheneviä fossiilisia polttoaineita ja samalle niiden käyttö vähentää hiilidioksidipäästöjä (CO_2), sillä biomassa kuluttaa (sitoo) saman määrän hiilidioksidia ilmakehästä sen kasvun aikana, kun sitä vapautuu sen palamisen aikana.^{1,2} Tässä tutkielmassa keskitytään biopolttoaineista puupolttoaineisiin sekä turpeen ja kivihiilen palamisominaisuuksiin.

Biomassa on ainoa uusiutuva, hiilipohjainen polttoaine, ja sen soveltaminen onkin yhä tärkeämpää ilmastonsuojelulle. Toimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi on vuosien saatossa kehitetty. Tutkielmassani tarkastellaankin miten polttoaineiden laatu vaikuttaa energiantuotannossa. Lisäksi tutkitaan mitä keinoja voimalaitoksilla on syntyvien päästöjen vähentämiseksi. Päästöjen puhtauteen voidaan vaikuttaa paljon valvomalla polttoaineiden laatua kemiallisilla analyysillä, valvomalla polttoprosessia sekä -tekniikkaa ja polttamisen olosuhteita. Myös polttoaineen esikäsittely ja sen erilaiset polttotavat ovat keinoja vähentää haitallisia päästöjä energiantuotannossa. Suomessa voimalaitoksissa onkin yleisimmin käytössä seospoltto, jossa tavallisimmin poltetaan erilaisia puupolttoaineita ja turvetta sekaisin. Näillä keinoilla pyritään vähentämään polttoaineiden poltossa muodostuvia ei-toivottuja yhdisteitä ja päästöjä kuten typpi- (NO_x) ja rikkioksideita (SO_2).³

2. Palamisen kemia

Polttoaineen palamisprosessin ymmärtämiseksi on tärkeää ymmärtää ne ominaisuudet, jotka määrittävät sen käyttäytymisen polttoaineena. Näihin ominaisuuksiin, jotka vaikuttavat sen palamiseen kuuluu polttoaineen kemiallinen koostumus. Koostumus sisältää muun muassa polttoaineen kosteuden, kosteuspitoisuuden sekä ligniinin ja selluloosan määrän.⁴

Palamisreaktion päävaiheita⁴ ovat:

Polttoaine → Polttoaineen lämmittäminen ja kuivuminen → Pyrolyysi; haihtuvien aineiden vapautuminen → Esipalamisreaktiot → Primäärinen kaasufaasipoltto; kaasujen syttyminen ja palaminen → Sekundäärinen palaminen; koksen eli jäännöshiilen palaminen

Pyrolyysi on termokemiallinen prosessi, jossa hajoaa orgaanisia aineita hapettomissa olosuhteissa. Sen tarkoituksena on muuntaa biomassaa käyttökelpoisemmaksi polttoaineeksi. Pyrolyysi tapahtuu alhaisissa lämpötiloissa ja on suhteellisen hidas kemiallinen reaktio. Pyrolyysin reaktiomekanismit ovat monimutkaisia biomassalle. Esimerkiksi puulle ne voidaan määrittää viiteen vaiheeseen⁴ seuraavasti:

1. Kosteuden ja haihtuvien aineiden väheneminen
2. Hemiselluloosan hajoaminen: CO- ja CO₂-päästöt
3. Eksotermisen reaktion, joka aiheuttaa puumaisen biomassan lämpötilan nousun: metaanin, etaanin ja vedyn päästöt
4. Vaihe vaatii ulkoista lisäenergiaa jatkamaan prosessia
5. Täydellinen hajoaminen tapahtuu orgaaniselle ainekselle

Palaminen on tyypillisesti heterogeeninen reaktio, jossa esimerkiksi hiili reagoi hapen O₂ kanssa seuraavilla reaktioilla⁵ :



Vastaavasti selluloosan (C₆H₁₀O₅)_n reaktio hapen kanssa:



Palaminen on eksoterminen reaktio, mutta riippuen hapen O₂ konsentraatiosta sekä syntyvien tuotteiden kuten hiilidioksidin CO₂ ja veden H₂O konsentraatioista, voi reaktio olla myös endoterminen.⁵

3. Biopolttoaineet

Globaali huoli fossiilisten polttoaineiden haittavaikutuksista ympäristölle on nopeuttanut ja lisännyt vaihtoehtoisten, uusiutuvien energialähteiden käyttöä kuten aurinko- ja tuulivoimaa sekä biomassan polttoa voimalaitoksissa. Biomassa on yksi vanhimmista energian lähteistä, jota saadaan orgaanisista aineista.⁶ Viime vuosina bioenergian osuus maailmanlaajuisesta energiantuotannosta oli jopa 10%, joka on tähän asti korkein määrä tuotettua energiaa uusiutuvilla energiavarannoilla (RES).⁷

Euroopan parlamentin neuvoston direktiivi 2009/28/EY⁸ täsmentää biomassan käsitteen seuraavasti:

"biomassalla" tarkoitetaan maataloudesta (sekä kasvi- että eläinperäiset aineet mukaan lukien), metsätaloudesta ja niihin liittyviltä tuotannonaloilta, myös kalastuksesta ja vesiviljelystä, peräisin olevien biologista alkuperää olevien tuotteiden, jätteiden ja tähteiden biohajoavaa osaa sekä teollisuus- ja yhdyskuntajätteiden biohajoavaa osaa"

Biomassaa on Suomessa runsaasti, sillä meillä on paljon metsäpinta-alaa. Suomen pinta-alasta jopa kaksi kolmasosaa on tuottoisaa metsää ja metsätalous onkin elintärkeää valtakunnan taloudelle, sillä jopa 40% Suomen vientituloista tulee metsätaloudesta.⁹ Perinteinen yhteistyökumppanimme metsätaloudessa on ollut pitkään Ruotsi. Maiden samankaltaiset ilmastot, metsäteknologia, infrastruktuuri, energiasektiot sekä yhteiskunnallistaloudellinen ympäristö ovat tehneet yhteistyöstä luonnollisen ratkaisun. Suomen metsäteollisuus puoltaa myös metsäenergiaa, sillä se työllistää sitä suuresti ja auttaa taloudellisesti. Metsäteollisuuden kilpailukykyisyyttä on koitettu parantaa muun muassa hiilienergian verotuksella sekä laskemalla puumassan hintoja tasaisesti.⁹

Puumateriaalin poltto voimalaitoksissa on vaihtoehtoinen energianlähde sähköntuotannon vesivoimalaitoksille. Tämä johtuu puumassan polton mahdollisuuksista tuottaa esimerkiksi biokaasua (metaania, hiilidioksidia ja muita kaasuja), joilla on suuri lämpöarvo, ja jota voidaan käyttää kaasuturbiinin avulla tuotettuun sähköön. Biomassasta puupolttoaine on edullisin vaihtoehto korvaamaan fossiiliset polttoaineet, sillä puulla on monia logistisia etuja varastoinnin ja toimituksen kannalta.¹⁰

Puuvartisilla kasveilla kemiallinen koostumus muodostuu siis pääasiassa hiilestä (C), hapesta (O) ja vedystä (H). Puiden vihreät osat myös yhteyttävät muodostaen happea sekä sokeria. Nämä elävät solut muuttavatkin puut monimutkaisemmiksi komplekseiksi. Hiilen, hapen ja vedyn lisäksi puut sisältävät hieman typpeä (N) ja muita alkuaineita.⁷ Puuperäiset polttoaineet sisältävät lisäksi kaliumia, joka on yksi muodostuvan tuhkan pääaineista. Puussa rikin pitoisuus on <0,05% ja typen pitoisuus on noin 0,5-2,3%. Typen pitoisuus vaihtelee puulajien välillä. Esimerkiksi männnyssä ja kuusessa typpipitoisuus on keskimäärin 0,05%, kun taas harmaalepässä jopa 0,19%. Näiden alkuaineiden pitoisuudet ovat haastavia tekijöitä polttoprosesseissa.^{1,11} Puiden rakenteissa, soluissa on vettä. Kosteus riippuu puun iästä sekä puun osasta, puulajikkeesta. Se miten kosteaa puu on määrittää puupolttoaineen käyttötavan.⁷

Puupolttoainelajeja on käytössä monia. Puupolttoaineet voivat olla eri puulajiketta, puun eri osia tai puulajikkeita erilaisista kasvuympäristöistä. Puupolttoainelajeja ovat muun muassa kokopuuhake, metsätähdehake, rankahake, sahanpuru, kuori, hakkuutähdehake neulasineen tai neulasitta.¹²

Alla olevat kuvat olen ottanut työnantajani luvalla muutamista analysoimistani puupolttoaineista. Kuvista näkee polttoainelajien rakenteelliset erot niiden saapumistilassa.



Kuva 1. Sahanpuru



Kuva 2. Kokopuuhake



Kuva 3. Metsätähdehake



Kuva 4. Rankahake

Tässä työssä kuitenkin puhutaan puupolttoaineesta yleisesti, keskimääräisin arvoin, lajiketta tarkemmin määrittelemättä, ellei se ole kerrotun tiedon kannalta oleellista.

Havupuupolttoaineissa on usein seassa myös käpyjä. Jos käpyjen määrä on suuri, myös se vaikuttaa polttoaineen ominaisuuksiin palamisessa. Kaikkien puulajien käpyjen tuhkapitoisuudet ovat 0,34- 2,79%¹³ välillä, kun taas puiden tuhkapitoisuus on keskimäärin välillä 0,4- 0,5%¹⁴. Käpyjä voidaan kuitenkin pitää tukipolttoaineena, sillä niiden fysikaaliset ominaisuudet ovat suotuisia energiantuotannon kannalta, vaikka tuhkapitoisuus voikin olla korkea. Tulevaisuudessa niiden kemiallisia ominaisuuksia tulee kuitenkin tutkia vielä enemmän.¹³

Toinen Suomessa runsaassa käytössä oleva polttoaine on turve, joka syntytapansa vuoksi luokitellaan fossiiliseksi polttoaineeksi.¹⁵ Turvemaata peittää Suomen pinta-alasta melkein kolmasosan ja turve onkin Suomessa tärkeä energianlähde. Noin 18% alueellisesta lämmityksestä ja 5% sähköstä tuotetaan turve-energiasta.⁹

Turpeen erilaiset ominaisuudet johtuvat osittain sen syntytavasta. Turve muodostuu hyvin kosteissa olosuhteissa, kuolleiden kasvien maatuessa. Hapen puutteen takia kasvien osat eivät hajoa kunnolla maatumisprosessissa, jolloin syntyy koko ajan kasvava turvekerrostuma. Turpeen rakenne ei ole homogeeninen, sillä se sisältää vaihtelevan määrän joko huonosti maatuneita tai maatumattomia kasvinosia.¹²

Turpeen kemiallinen koostumus on pääosin hiiltä (46-59%), mutta hiilipitoisuus vaihtelee maatumisasteen ja turvelajien mukaan. Maatumisaste vaikuttaa ligniinin pitoisuuteen turpeessa lisäävästi, kun taas hemiselluloosan ja selluloosan määrään laskevasti. Ligniini, selluloosa ja hemiselluloosa ovat puuaineksen solurakenteita. Muita alkuaineita turpeessa on muun muassa happea (30-40%), vetyä (5-6,5%), rikkiä (<0,3%, yleensä noin 0,1-0,2%) sekä typpeä (0,2-3,1%). Alkuaineiden pitoisuudet vaihtelevat alueittain ja joillakin alueilla rikkipitoisuus saattaakin olla selkeästi enemmän kuin 0,3%.⁷ Suuren hiilipitoisuuden takia turve palaa hitaammin kuin biomassat.¹⁶

Myös turpeella on erilaisia polttoainelajikkeita, joista jyrshinturvetta käytetään energiantuotannon turvepolttoaineista yli 90%. Suuressa käytössä on myös palaturve.¹²

3.1. Polttoaineiden valinta

Energiantuotannossa polttoaineita valittaessa on tärkeää tietää polttoaineiden fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista, jonka takia tarvittaessa täytyy osata teettää vaadittavat analyysit polttoaineen laadun selvittämiseksi. Keskeisimpiä ominaisuuksia ovat kosteus ja lämpöarvo sekä polttoaineen käsittelyyn vaikuttavat ominaisuudet kuten palakoko sekä tiheys. Tärkeimmät ominaisuudet määritetään laboratoriokokein, silloin kun polttoainekauppaa käydään suurissa mitoissa, esimerkiksi voimalaitosten ja tuottajien kesken.⁷

Turpeessa haihtuvia aineita on vähemmän kuin puussa ja biomassassa yleensä, jonka vuoksi turpeen tehollinen lämpöarvo on suurempi kuin biomassan keskimääräinen arvo.¹⁶ Teholliseen lämpöarvoon vaikuttavat haihtuvien aineiden lisäksi myös turvelaji, maatumisaste sekä tuhka- ja hiilipitoisuus. Turpeella maatumisasteen lisääntyessä lämpöarvo nousee, mutta samalla yleensä myös tuhkapitoisuus kasvaa. Tämä alentaa ideaalista lämpöarvoa, sillä tuhkapitoisuus halutaan pitää polttoaineilla mahdollisimman alhaisena.¹²

Polttoaineen käyttötavan määrittää se, miten suuri sen kosteusprosentti on. Suuremmat voimalaitokset voivat käyttää hyvinkin kosteita polttoaineita, mutta tällöin laitoksen on täytynyt ottaa suuri kosteusprosentti huomioon polttotekniikassa ja -tavoissa. Jos voimalaitos käyttää jopa 50% kosteaa polttoainetta, tulee laitoksessa olla savukaasunlauhdutin. Se ottaa lämpöenergian talteen lauhduttamalla savukaasujen sisältämän kosteuden. Lisäksi niin kostean (>50%) biomassan poltossa tarvitaan täydentävää polttoainetta polttoprosessin tueksi.¹⁶ Polttoprosessin energiahäilyty kasvaa, kun poltettavan materiaalin kosteusprosentti on alhainen ja kuivamassa korkea.⁷

Turpeen polttoainekäytössä tulee ottaa huomioon sen kemiallinen reaktiivisuus, sillä sen takia turve syttyy herkästi palamaan. Varsinkin hienojakoisena ja kuivana turpeen käyttöön liittyy tulipalo- ja pölyräjähdysvaara. Turve voi myös aiheuttaa polttokattilan korroosiota, sillä se on hapanta (suomalainen turve: pH on 5-6). Turpeen kemiallisia ominaisuuksia voidaan kuitenkin hyödyntää muun muassa sen

kaasutuksessa ja turveammoniakin valmistuksessa. Tärkeä ominaisuus on turvehiilen reaktiivisuus, jota voidaan käyttää hyväksi malmien ja metallien pelkistyksessä.¹²

Biomassa siis eroaa turpeesta ja kivihiilestä polttoaineena monilla tavoin. Niiden epäorgaaniset, orgaaniset sekä fysikaaliset että energiasisällöt eroavat toisistaan.¹⁶ Biomassassa on turpeeseen verrattuna enemmän happea ja vähemmän hiiltä, sillä sen rakenteista suurin osa on selluloosaa $(C_6H_{10}O_5)_n$, sillä puuvartisten kasvien kuivamassasta sitä on 40-50%. Lehtipuilla prosenttiosuus on korkeampi kuin havupuilla.⁷ Yleisesti biomassassa on myös enemmän kaliumia ja piidioksidia, vähemmän rautaa ja alumiinia. Tärkeä ero on lämpöarvo, joka on biomassalla alhaisempi kuin turpeella yleensä. Näitä ominaisuuksia voidaan tutkia polttoaineiden analyyseilla laboratorioissa.⁴

3.2. Polttoaineen laadun analyysit

Kuten aiemmassa kappaleessa todettiin, että energiantuotannossa on tärkeää tuntea käytettyjen polttoaineiden ominaisuudet etukäteen, jotta osataan valita oikea polttotekniikka oikeille polttoaineille ja ennustaa niiden kemiallinen käyttäytyminen. Voimalaitokset haluavat luonnollisesti mahdollisimman energiarikasta polttoainetta, jotta energiantuotanto olisi mahdollisimman kannattavaa. Polttoaineen energiasisältö riippuu sen kemiallisesta koostumuksesta, sillä biomassassa energia sitoutuu auringosta vedyn ja hiilen yhdisteisiin ja niiden sidoksiin. Mitä enemmän polttoaineessa on vety- ja hiiliyhdisteitä, sitä korkeampi on sen energiasisältö.⁷

Näitä kemiallisia ominaisuuksia voidaan tutkia laboratorioissa. Sieltä saadaan erilaisilla analyyseilla tärkeää tietoa esimerkiksi kosteudesta ja rikkipitoisuudesta. Tässä kappaleessa käydään lyhyesti läpi muutamia tärkeimpiä ja yleisimpiä polttoaineanalyyseja energiantuotannossa.

Analyysien valinta riippuu polttoaineesta, polttotekniikasta ja mitä niistä halutaan selvittää. Alla olevassa *taulukossa 1.* on lueteltu muutamia ominaisuuksia mitä voidaan analysoida polttoaineista. Lisäksi taulukossa on esitetty turpeella ja puulla esiintyviä keskimääräisiä standardiarvoja.

Taulukko 1. Kiinteiden polttoaineiden tyypillisiä ominaisuuksia saapumistilassa¹⁴

| Ominaisuus | Puu | Turve |
|-----------------------------------|------------|--------------|
| Kosteus% | 30- 45 | 40- 55 |
| Tehollinen lämpöarvo MJ/kg | 19,5 | 20,4 |
| Kalorimetrinen lämpöarvo MJ/kg | 21,0 | 21,6 |
| Tuhka% | 0,4- 0,5 | 4- 7 |
| Haihtuvat aineet % | 84- 88 | 65- 70 |
| C% | 48- 50 | 50- 57 |
| H% | 6- 6,5 | 5- 6,5 |
| O% | 38- 42 | 30- 40 |
| S% | 0,05 | <0,2 |
| N% | 0,5- 2,3 | 0,8- 1,2 |
| Cl% | <0,01 | 0,03 |

Kosteusprosentti on yksi tärkeimmistä analyyseistä ja se suoritetaankin yleensä jokaiselle polttoaineen saapumiserälle, ollen näin työllistävin analyysi voimalaitosten laboratorioissa. Aineen kosteusprosentti vaikuttaa myös teholliseen lämpöarvoon, sillä veden höyrystäminen polttoaineesta vaatii energiaa. Voimalaitokset siis haluavat mahdollisimman kuivaa polttoainetta, jotta lämpöarvo olisi mahdollisimman korkea ja tuotanto mahdollisimman tuottavaa. Lämpöarvot ilmoitetaan normaalisti energiana massayksikköä kohti, usein megajouleina (MJ) polttoainekiloa (kg) kohti eli MJ/kg (1 MJ = 0,2778 kWh).⁷

Alakangas¹² avaa tutkimuksessaan Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia tehollisen lämpöarvon seuraavasti:

”Polttoaineen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo kuvaa täysin kuivan polttoaineen palamisessa vapautuvaa energiamäärää olettaen, että polttoaineen sisältämästä vedystä muodostuneen vesihöyryn latenttia lämpöä ei saada talteen.”

Tehollinen lämpöarvo siis ottaa huomioon kosteuden alentavan vaikutuksen lämpöarvoon. Varsinkin Suomessa talvien ollessa joskus hyvin kylmiä, kostea polttoaine saattaa aiheuttaa ongelmia polttoaineen syöttölaitteistoissa jäätymällä. Vesihöyrystä muodostunut latenttilämpö voidaan kuitenkin saada talteen voimalaitoksessa olevalla savukaasunlauhduttimella. Tehollinen lämpöarvo on alin lämpöarvo, koska sitä laskettaessa siitä vähennetään energiamäärä, joka käytetään polttoaineen palamisessa syntyvän sekä polttoaineen sisältämän veden haihduttamiseen.¹²

Toinen käytetty lämpöarvo on kalorimetrinen lämpöarvo. Se ilmoittaa vapautuvan lämpöenergian määrän poltettavan aineen massayksikköä kohti, kun aine palaa täydellisesti. Lisäksi oletetaan, että palamistuotteet jäähtyvät 25°C:en lämpötilaan. Kalorimetrinen lämpöarvo eroaa tehollisesta lämpöarvosta siinä, miten aineen sisältämä vesi eli kosteus otetaan huomioon. Kalorimetrisessä arvossa aineen kosteus ja palamistuotteena syntyvä vesi oletetaan palamisen jälkeen nesteeksi. Siinä ei siis oteta huomioon veden haihtumisesta aiheutuvaa energiahäviötä kuten tehollisessa arvossa otettiin.⁷ Biokaasuilla, kuten metaanilla, on yleensä korkea kalorimetrinen lämpöarvo. Tätä voidaan hyödyntää turbiinien pyörittämiseen sähköntuotannossa.⁶

Tehollisesta lämpöarvosta puhutaan alempana lämpöarvona ja kalorimetrisestä arvosta ylempänä arvona. Suomessa lämpöarvo ilmoitetaan useimmiten tehollisena eli alempana lämpöarvona. Se saadaan myös laskettua kalorimetrisestä lämpöarvosta.¹²

Polttoaineiden alkuainepitoisuuksia analysoidaan kemiallisesti sekä lisäksi PCA eli pääkomponenttianalyysillä, jolla voidaan selvittää alkuainepitoisuuksia, kuten H-, C-, O-, S-, N-, Cl- ja tuhkaprosentit polttoaineissa.¹⁷ Analyysit polttoaineen palavista osista antavat tietoja päästöreaktoreista (N, S, Cl). Tuhkan muodostavat alkuaineet (Na, Ca, Fe, Mg, Si, P, K) on tärkeä analysoida ja arvioida, sillä ne osallistuvat ja vaikuttavat suuresti kuonan muodostumiseen ja likaantumiseen kattiloissa.¹⁶ Kun näitä haittavaikutuksia aiheuttavat alkuaineet ja niiden pitoisuudet tiedetään, osataan arvioida riskitekijät ja voidaan varautua sekä ennaltaehkäistä niitä. Hiilessä ja biomassassa on näitä tekijöitä eri suhteessa toisiinsa.¹⁸ PCA on yksinkertainen analyysityökalu polttoainenäytteiden luokitteluun sekä kemiallisten koostumusten selvittämiseen.¹⁹

Tässä kappaleessa käsitellyillä ominaisuuksilla on suoria vaikutuksia toisiinsa, jonka takia niitä on tärkeä analysoida ennen polttamista. Kosteus vaikuttaa muun muassa sen mekaaniseen kestävyYTEEN sekä polttoaineen teholliseen lämpöarvoon, joka taas vaikuttaa tuhkapitoisuuteen. Tuhkapitoisuuteen vaikuttaa siinä olevat epäpuhtaudet, jotka vaikuttavat tuhkan sulamiskäyttäytymiseen ja siten myös agglomerisaatioon.¹⁶ Kemialliset ominaisuudet vaikuttavat siis toisiinsa, jonka vuoksi polttoaineen yhden ominaisuuden analysoiminen ei kerro siitä tarpeeksi kattavaa tietoa.⁷

4. Päästöt

Energiavoimalaitosten jatkuvassa tarkastelussa ovat poltossa syntyvien päästöjen laatu ja määrä. Ilmastokysymysten ollessa hyvinkin ajankohtaisia, biomassan polttaminen on suositeltava tekniikka fossiilisten polttoaineiden kulutuksen ja siten myös hiilidioksidipäästöjen (CO₂) vähentämiseksi. Yleisimpiä ja tärkeimpiä seurattavia näistä ovat biopolttoaineiden poltossa syntyvät rikkidioksidien (SO₂), typpioksidien (NO_x), hiilioksidien (CO_x) ja vetykloridien (HCl) happamat kaasupäästöt. SO₂ ja NO₂ sekä vetykloridi (HCl) voivat esiintyä luonnossa myös happosateina. Lisäksi ne aiheuttavat metallien korroosiota polttokattilassa.^{20,21} Lisäksi biomassan poltossa voi syntyä helposti haihtuvia myrkyllisiä ja karsinogeenisiä päästöjä kuten PAH-yhdisteitä.¹⁴

4.1. CO₂-, SO₂- ja NO_x -päästöt

Biomassan voidaan ajatella olevan CO₂ -neutraalia polttoainetta, joskin sen tuotannossa, kuljetuksessa ja esikäsittelyssä syntyy CO₂ -päästöjä.²² Biomassan poltto myös ehkäisee metaanin (CH₄) vapautumista mädäntyneistä biomassan ylijäämistä. Se on tärkeää, sillä CH₄:lla on noin 21²⁰ kertaa suurempi globaali kasvihuonevaikutus kuin hiilidioksidilla.

Poltossa käytetty turve vapauttaa suuren määrän hiilidioksidia. Korvattaessa polttoaineturpeita sekä muita fossiilisia polttoaineita voidaan hiilidioksidipäästöjä vähentää merkittävästi.^{20,22}

Vuosittaiset metaanipäästöt Suomessa vastaavat yhteensä noin viittä miljoonaa tonnia²³ CO₂-päästöjä. Energiantuotannossa syntyy vähemmän CH₄-päästöjä kuin karjataloudesta (lanta ja märehäätminen) tai jäteveden ja kaatopaikkojen puhdistuksessa.²³

Suurimmassa osassa biomassapolttoaineista on jonkin verran rikkiä (S), joka muodostaa haasteita voimalaitosten polttoprosesseihin.²⁰ Rikkipitoisuus on olennaista niin päästöjen kuin myös polttokattiloiden korroosion kannalta. Korroosiota syntyy tuhkan muodostumisessa ja siinä suurin aiheuttaja on kloori. Rikistä voi myös muodostua rikkihappoa (H₂SO₄), joka aiheuttaa puolestaan kastepistekorroosiota lämmönsiirtopintojen viileämissä kohdissa, joissa rakenteen lämpötila on rikkihapon kastepisteen alapuolella.⁷

Rikki voi esiintyä biomassan sekä epäorgaanisissa, että orgaanisissa yhdisteissä. Alhaisissa lämpötiloissa rikki vapautuu orgaanisista yhdisteistä haihtumisprosessien aikana. Korkeissa lämpötiloissa (yli 900 °C²⁴) epäorgaaniseen ainekseen liittynyt rikki irtoaa yhdisteestä, jos se pääsee vuorovaikutukseen hiili yhdisteiden kanssa. Muuten rikki pysyy liittyneenä tuhkan epäorgaanisiin yhdisteisiin. Esimerkiksi alkalimetalleilla sekä maa-alkalimetalleilla (kuten Na, Ca ja K) on kyky sitoa rikkiä sulfaatin muodossa.^{1,2}

Polttoaineiden sisältämä typpi voi esiintyä eri yhdisteissä eri hapetusluvuilla. Typen päästöjen muotoja ovat muun muassa NO_x-päästöt. NO_x-päästöt saavat alkunsa

ilmakehässä esiintyvän typen ja polttoaineeseen sitoutuneen typen reaktiosta. Polttoaineeseen sitoutunut typpi vapautuu hiilen hapetusvaiheiden sekä haihtumisen aikana.²⁰ NO_x-päästöistä suurin osa on typpimonoksidia (NO), joka ilmakehässä hapettuu nopeasti typpidioksidiksi (NO₂). Reagoidessaan veden kanssa se muodostaa typpihapoketta (HNO₂) sekä typpihappoa (HNO₃).⁷ Nämä molemmat yhdisteet ovat sadevesiä happamoittavia vaikuttaen siten maaperän ja vesistöjen pH-arvoihin alentavasti.^{7,20} Biomassan poltossa helposti haihtuvaa materiaalia on enemmän kuin pelkän kivihiilen poltossa ja siihen sitoutunut typpi voi vapautua myös NH₃ ja hieman HCN muodossa.²⁰

4.2. Muita haitallisia päästöjä

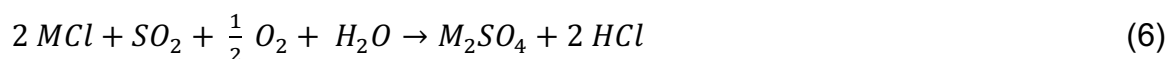
Polttoaineiden koostumukset vaihtelevat erityisesti epäorgaanisten ainesosien suhteen ja juuri ne vaikuttavat suuresti polttokattiloiden kriittisiin ongelmiin kuten likaantumiseen ja kuonaantumiseen. Alkalimetalli- ja maa-alkalimetallit ovat muiden polttoaineissa olevien polttoainekomponenttien, kuten rikin ja piidioksidin, kanssa vastuussa ei-toivotuista reaktioista polttokattiloissa. Kloorin läsnäolo helpottaa kyseisten reaktioiden tapahtumista. Näiden reaktioiden haitallisten vaikutusten ja siten myös teollisuuden kustannusten vähentämisessä on hyödyksi analyysit, niiden suuntaa antavat, sovitut standardiarvot sekä tekniset käytännöt.¹⁷

Joidenkin biomassapolttoaineiden palamistuotteita ja -päästöjä ovat alkalimetallikloridit, jotka tuovat haastetta polttoprosesseihin. Näitä haastavia sivutuotteita syntyy pääasiassa oljen poltossa. Niitä syntyy kuitenkin myös jonkin verran esimerkiksi metsätähteen poltossa sillä oksat ja neulasets sisältävät klooria. Polttoaineista klooria voi vapautua joko dikloorikaasuna (Cl₂), vetykloridina (HCl) tai alkalimetalliklorideina, pääasiassa kaliumkloridina (KCl), natriumkloridina (NaCl)¹⁶ ja kalsiumkloridina (CaCl₂).²⁰ Cl₂ vaikuttaa korroosioon vahvemmin kuin HCl.¹⁶ Alkalimetallikloridit voivat kondensoitua eli tiivistyä klooripitoisista biomassapolttoaineen savukaasuista. Tällöin ne pääsevät mahdollisesti reagoimaan rikkidioksidin kanssa muodostaen alkalimetallisulfaatteja, jotka ovat

huomattavasti vähemmän korroosiota aiheuttavia kuin alkalimetallikloridit. Tutkimusten perusteella tämä tapahtuu vain hapettuvissa olosuhteissa.²⁵

Alkalimetallikloridit, enimmäkseen KCl, vaikuttavat kattiloiden sisällä, korkeassa lämpötilassa tapahtuvaan alkalimetallikorroosioon. Biomassan polttoaineiden seospoltolla voidaan laskea syntyvän kaliumkloridin (KCl) määrää, mutta samalla se voi nostaa vetykloridin (HCl) konsentraatiota, sillä sitä syntyy kloorisulfaatioreaktiossa.^{18,20}

Kloorisulfaation reaktioyhtälö¹² (6):



, jossa M=alkalimetalli, esim. kalium tai natrium.

Biomassa sisältää hieman piitä, joka reagoi alkalimetallien kanssa muodostaen alkalimetallisilikaatteja, jotka voivat kattilassa joko pehmetä (alle 700°C¹¹) tai jopa sulaa. Lisäksi biomassan alkalimetallimateriaali voi reagoida sulfaatin kanssa muodostaen alkalimetallisulfaattia (reaktio yläpuolella). Siksi alkalimetallimateriaali on hyvä ennen polttoa määritellä ja ottaa huomioon sen haihtuminen poltossa.¹¹ Korroosio-ongelma on suurinta, kun puupolttoaineessa on runsaasti neulasia.⁹

Useissa biopolttoaineissa alkalimetalleista yleisin on kalium. Kaliumin määrä voi vaihdella eri metsien puumateriaalien välillä eli maantieteellinen paikka vaikuttaa biomassan laatuun. Kalium reagoi rikin kanssa muodostaen sulfaatteja. Biomassa sisältää yleensä myös kalsiumia, joka reagoi esimerkiksi rikin kanssa samoin kuin kalium. Kalsiumin muodostamat yhdisteet ja tuhka ovat kuitenkin suotuisampia polttokattiloille muodostuvan tuhkan rakenteellisten ominaisuuksien takia.¹¹

Alkuaineista kloorilla on suuri vaikutus kattiloiden lika- ja tuhkakerrostumien muodostumisessa. Kaliumkloridi on yksi stabiilimmista aineista korkeissa lämpötiloissa ja kaasufaaseissa. Jos klooria ei ole polttoaineessa, alkalimetallit esiintyvät alkalimetallihydrokseina.¹¹

Biomassan poltto on myös lähde haihtuville orgaanisille yhdisteille kuten myrkyllisille ja karsinogeenisille polysyklisille aromaattisille hiilivedyille (PAH).²¹ PAH-yhdisteitä tuottaa epätäydellinen palaminen orgaanisesta materiaalista.²⁶ Enemmistö PAH-päästöistä syntyy ihmisen toiminnasta ja sen pitoisuus vaihtelee merkittävästi kaupunki- ja maaseutu ympäristöissä. Pyrolyysi on yksi pääasiallisista mekanismeista, joka aiheuttaa PAH-yhdisteiden muodostumisen. Pienet hiilivedyt muodostavat niitä, kun lämpötila ylittää 500°C²⁶, jolloin hiili-hiili ja hiili-vety sidokset katkeavat ja muodostavat vapaita radikaaleja.²⁶

Tehdyissä tutkimuksissa ei ole kiinnitetty paljon huomiota palamisen aiheuttamiin lisäongelmiin, kuten hajuun, joka saattaa varsinkin biomassaa polttaessa olla ongelmallistakin. Työ- ja elinolojen parantamiseksi maat rajoittavat eri lähteistä peräisin olevia hajupäästöjä eri keinoin.²¹

4.3. Päästöpolitiikka Suomessa

Suomessa otettiin voimaan kansainvälinen ilmastostrategia vuonna 1999, joka sisälsi muun muassa toimintasuunnitelman kaikille uusiutuville energialähteille.²⁷ Tavoitteena oli kasvattaa uusiutuvien energialähteiden käyttöä 50%:lla²⁷ vuosina 1997-2010. Tavoitteet määriteltiin erityisesti bioenergialle, tuulivoimalle, vesivoimalle sekä aurinkoenergialle.²⁷ Toimintasuunnitelmaan sisältyi myös visio bioenergian käytön kaksinkertaistamisesta vuoden 1997 tasosta vuoteen 2025 mennessä, mutta toimintasuunnitelman tavoitteet eivät koskeneet turpeen käyttöä. Suomessa bioenergia, ilman turvetta, kattoi jopa 20% primäärienergiankulutuksesta ja 10% sähkön kysynnästä vuonna 2002.²⁷ Nämä luvut olivat teollisuusmaiden korkeimmat. Tavoitteena on, että vuonna 2025 noin puolet Suomen energiankulutuksesta tulisi uusiutuvista energialähteistä.²⁸

Politiikalla onkin suuri merkitys valtioiden energiaratkaisuilla, sillä siis sisältyy poliittinen tuki esimerkiksi juuri bioenergian tutkimukseen ja kehittämiseen. Tällä tavoin on mahdollista vähentää hiilidioksiditasoja, mutta lisäksi voidaan myös ottaa käyttöön fossiilisten polttoaineiden verotus. Suomi ja Ruotsi ovat kaksi johtavaa

maata biomassajärjestelmien hyödyntämisessä energiantuotannossa. Energiapolitiikka on säädetty karttamaan fossiilisia polttoaineita, mutta investoinnit näihin järjestelmiin vaatii taloudellista houkuttelevuutta. Sitä kautta verotuksella on tässä suuri merkitys.²⁹

5. Polttoprosessien ongelmat ja niiden ratkaisut

Ongelmia poltossa ovat kattilassa esiintyvät haittailmiöt, kuten kattilan likaantuminen ja siitä seuraava korroosio, kuonaantuminen, tuhkan sulaminen ja poltossa syntyvät päästöt. Nämä voimalaitoskattiloiden ongelmat pelkkien biopolttoaineiden poltossa johtuvat suurilta osin kloorista ja alkalimetalleista. Ne reagoivat poltossa muiden aineiden kanssa aiheuttaen yhteen liimautumista kattilan petimateriaalissa sekä muodostavat höyryfaasiin liikavia ja korroosiota aiheuttavia alkalimetalliklorideja, jolloin puhutaan alkalikorroosiosta. Höyryn alkalimetallikloridit tiivistyvät kattilarakenteiden viileämmille pinnoille muodostaen edellä mainitun korroosioisen kerrostuman. Näitä varten on kehitetty suoja mekanismeja estämään vastaavat haittavaikutukset.⁷

5.1. Tuhkan muodostuminen

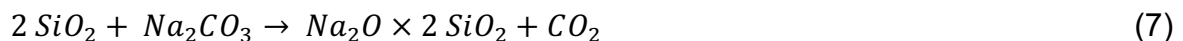
Kiinteiden biopolttoaineiden kattilapoltossa on ongelmana tuhkan muodostuminen, sen reagoiminen ja sulaminen kattilassa. Tuhkan kemiallinen koostumus vaihtelee polttoaineissa. Esimerkiksi puussa tuhkan pääkomponentteja ovat maa-alkalimetallit ja alkalimetallit, kun taas turpeessa niitä ovat silikaatit.³⁰

Biomassassa tuhkaa muodostavat alkuaineet ovat läsnä hiilirakenteisiin sitoutuneena.³¹ Tuhka-ainesosia ovat yhdisteet, jotka sisältävät kaliumia, natriumia, mangaania, kalsiumia, piioksidia, alumiinioksidia ja fosforia, mainiten tärkeimpiä.¹⁸

Usein syntyvä tuhka sisältää suuria määriä Na_2SO_4 , NaCl , KCl ja K_2SO_4 yhdisteitä. Yhdessä nämä aineet voivat madaltaa tuhkan sulamispistettä paljonkin. Tuhkan

sulamispisteen alentuessa lentotuhkan partikkelien yhteen sulaminen lisääntyy ja siten aiheuttaa lämmöntuotantokattiloiden pintojen likaantumista, joka voi johtaa voimalaitokselle kalliiksi tuleviin revisioihin eli hetkellisiin kattilan käytön poistoihin sen puhdistuksen ja huollon ajaksi.¹²

Biopolttoaineen ja tuhkan kemiallinen koostumus on hyvä määrittää ennen polttoa. Tämä polton niin kutsuttu tuhkakemia kertoo miten ja mihin tuhkan muodostuminen vaikuttaa päästöissä ja kattilassa. Tuhkakemiaan kuuluvat kuonaantumis-, korroosio- ja likaantumismekanismit sekä petihiekan agglomeraatiomekanismi.³² Tuhkaa muodostavat pääalkuaineet (Ca, Na, Mg, Al, Si, K, P) vaikuttavat näihin mekanismeihin ja syntyviin ongelmiin.¹⁸ Agglomeraatio tarkoittaa petihiekkajyvästen yhteen liimautumista. Jyvästen yhteen liimautumiseen, tuhkan sulamiseen, kattilan likaantumiseen ja siten sen korroosioon vaikuttavat esimerkiksi alkalimetallit (kalium K, natrium Na).¹⁶ Varsinkin agglomeraation mekanismeihin vaikuttavat alkalimetallien sekä raudan konsentraatiot.³² Alkalimetallien yhdisteet voivat reagoida petimateriaalin silikoniyhdisteiden kanssa esimerkiksi seuraavalla reaktioyhtälöllä¹⁶ (7) aiheuttaen agglomeraatiota:



Alkalimetallien korkea pitoisuus polttoaineessa ja petimateriaalin sisältämät silikoniyhdisteet kuten kvartsi (SiO_2) ja hiekka, aiheuttavat yhdessä voimakasta agglomeroitumista. Agglomeraatioon vaikuttavat siis petimateriaali, kattilaolosuhteet ja polttoaineen kemiallinen koostumus.³³

Kuitenkin, jos tuhkassa esiintyy riittävä määrä Fe_2O_3 :a agglomeraatiota voi tapahtua vähemmän, sillä Fe_2O_3 saattaa reagoida petimateriaalissa esiintyvien alkalimetalliyhdisteiden kanssa muun muassa seuraavalla reaktiolla¹⁶ (8):



, jossa M= kalium (K) tai natrium (Na)

Polttoaineissa mahdollisesti esiintyvät raskasmetallit, erityisesti sinkki (Zn) ja lyijy (Pb) vaikuttavat tuhkan hyötykäyttö mahdollisuuksiin, korroosiomekanismeihin sekä ilmaan joutuviin päästöihin. Kun polttoaineiden alkuainesisällöt tiedetään, voidaan erilaisilla menetelmillä pyrkiä vähentämään haittatekijöitä poltossa.^{7,19}

Eri polttoaineilla on erilaiset tuhkapitoisuudet. Puupolttoaineen tuhkapitoisuus vaihtelee riippuen puulajista sekä puun iästä. Havupuissa on vähemmän tuhkapitoisuutta kuin lehtipuissa ja varttuneiden puiden tuhkapitoisuus taas on alempi kuin nuorten puiden. Polttoaineen alhainen tuhkapitoisuus vähentää sen käsittely- että jalostuskustannuksia.¹² Puun tuhkassa olevia pääkomponentteja ovat maa-alkali- ja alkalisuolat, muun muassa kalsium ja magnesium.³⁴ Runsaasti kalsiumia on varsinkin puun kuoren tuhkassa.¹² Turve sisältää pääasiassa raudan, alumiinin, kalsiumin ja piin erilaisia yhdisteitä, jotka esiintyvät usein karbonaatteina, oksideina ja hydrokseina.³⁴ Tuhkapitoisuus puussa on yleensä alempi kuin muissa kiinteissä polttoaineissa ja se helpottaa tuhkan käsittelyä.⁷

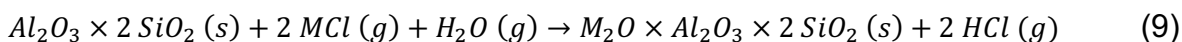
5.2. Ratkaisuja

Kerrostumisen estämisen strategioita on muun muassa, jonkin ”puhdistavan” biopolttoaineen lisääminen polttoaineen sekaan, jonka poltossa tätä ongelmaa esiintyy. Tällöin puhutaan seospolttamisesta. Polttoaine voidaan myös esikäsitellä, jolloin siitä huuhdellaan alkalimetalleja sisältävät yhdisteet pois. Lisäksi on mahdollista lisätä polttoaineen tai savukaasujen sekaan lisäaineita, jotka ovat yleensä kemikaaleja, joilla on sama ”puhdistava” vaikutus syntyvään tuhkaan kuin toisen biopolttoaineen lisäämisellä sekaan.²

Tällainen kemiallinen suojausmekanismi saadaan aikaan esimerkiksi lisäämällä alumiinisilikaattia ($\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2 \text{SiO}_2$) tai kalkkikiveä (CaCO_3) polttokattilaan, jolloin ne reagoivat alkalimetallikloridien tai rikin oksidien (SO_x) kanssa muodostaen alkalimetallisulfaatteja ja alkalimetallialumiinisilikaatteja.²⁰ Tällöin reaktiossa muodostuvasta HCl:sta osa vapautuu, jolloin korroosion riski polttokattilassa

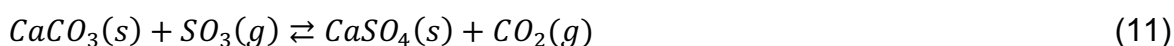
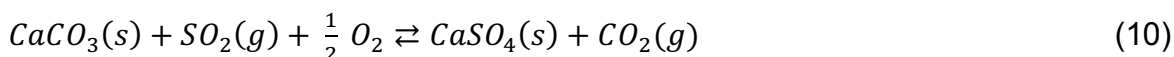
alenee. Korroosioriski silti säilyy osittain, sillä haihtumaton vetykloridi voi kondensoitua veden kanssa ja siten aiheuttaa kattilapinnoille korroosiota.⁷

Alumiinisilikaatti reagoi reaktioyhtälön⁷ (9) mukaisesti alkalimetallikloridien kanssa:



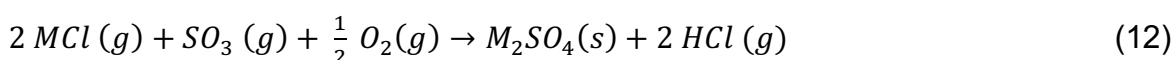
, jossa M= kalium (K) tai natrium (Na)

Kalkkikiven ($CaCO_3$) reaktioita³⁵ rikin oksidien (SO_x) kanssa voidaan kuvata seuraavilla reaktioyhtälöillä (10) ja (11):



Osa rikkiatrioksidista voi myös reagoida alkalimetallikloridien kanssa reaktioyhtälön¹² (12) mukaan. Jos reaktio pääsee tapahtumaan se lisää sulfaattien konsentraatiota.

Rikin mahdollinen suojausmekanismi reaktioyhtälössä¹² (12) esitettynä:



, jossa M= kalium (K) tai natrium (Na)

Muodostuvaa tuhkaa voidaan hyötykäyttää monilla eri tavoilla. Hyötykäyttöön liittyy kuitenkin monia säädöksiä ja lakeja, joista oleellisimpia ovat lannoitevalmisteasetus ja -laki, ympäristönsuojeluasetus ja -laki sekä jäteasetus ja -laki.³⁴ Syntyvää tuhkaa voidaan siis käyttää esimerkiksi lannoitteena, sillä varsinkin puun tuhkassa esiintyvillä kalsiumilla ja magnesiumilla on Suomen happamalle maaperälle hyviä neutralisointiaineita.⁷ Vuonna 2008 energiantuotannossa syntyvistä tuhista kaatopaikoille meni 37% ja hyötykäyttöön 63%. Hyötykäyttökohteita lannoituksen (n. 22%) lisäksi on kompostointi (1%) ja maarakennus (40%).³⁴

Useasti polttoprosesseissa syntyvä tuhka käytetään hyödyksi myöhemmin sekundaariseen toimintaan teollisuuteen, esimerkiksi betoniteollisuuteen.³⁴ Tällä on ekonominen merkitys yhtiöille. Ne voivat myydä tuhkat eteenpäin, vaikkapa juuri sementti- ja betoniteollisuudelle, jolloin heidän tarvitse varastoida tuhkia. Jos tuhkan koostumuksessa on haitallisia aineita se voi estää tuhkan myynnin tiettyihin käyttötarkoituksiin.¹⁸

5.2.1. Esikäsittely

Polttoaineen esikäsittely on yksi keino vähentää haitallisia päästöjä energiantuotannossa. Esikäsittelyssä nimensä mukaan käsitellään polttoainetta sen vaatimalla tavalla ennen polttoprosessia, jolloin sen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat.²⁴ Tällöin siitä saadaan kannattavampaa poltettavaa, kun sen polttoprosessissa syntyy vähemmän aiemmin esiteltyjä ongelmia tai päästöhaittoja.

Biomassan esikäsittelyitä ovat muun muassa pelletointi ja torrefaction eli paahtaminen. Näissä käsittelyissä polttoaineen energiatiheys kasvaa ja kuljetus että varastointi helpottuvat.²⁴ Torrefactioinnista voidaan puhua myös matalan lämpötilan pyrolyysinä. Siinä biomassa hajoaa osittain termisesti, jolloin jäljelle jäävä polttoaine on kuivempaa ja tiheämpää. Torrefactoidussa massassa kiinteän hiilen pitoisuus on korkeampi ja näistä johtuen se on myös korkeaaenergisempää. Aineella on torrefactioinnin jälkeen myös pienempi palakoko, joka helpottaa sen kuljetusta ja varastointia. Raakabiomassan lyhyt säilyvyys johtuu kosteuden uudelleen imeytymisestä polttoaineeseen varastoinnin aikana, johtuen sen hydrofiilisen luonteen takia ja se voi siksi alkaa mädäntyä. Torrefactioitu biomassa taas on luonteeltaan hydrofobinen. Biomassan kosteus riippuu torrefactionnin voimakkuudesta, mutta yleensä kosteus on hyvin alhainen käsitellyssä massassa, n. 1-6%²⁴ välillä. Tämän vuoksi sillä on pidempi säilyvyys varastoinnissa kuin raakabiomassalla.²⁴

Biomassan torrefactiointi tekee siitä sopivaa myös esimerkiksi seospolttoon (kappale 6.1.) hiilen kanssa, sillä tällöin biomassalla on samankaltaiset ominaisuudet kuin hiilellä. Torrefactioinnilla on muitakin positiivisia vaikutuksia polttoaineeseen. Se laskee palamisessa vapautuvia SO₂- ja NO_x- päästöjä sekä laskee kloorin pitoisuutta biomassassa. Kloorin pitoisuus laskee käsittelyn vaikutuksesta jopa noin 20-70% ja rikkipitoisuus 30-80%.²⁰ Kloorin vapautuminen alhaisessa lämpötilassa torrefactionlaitteistoissa on vähemmän haitallista, kuin sen vapautuminen polttokattilassa todella korkeissa lämpötiloissa. Torrefactoidusta biomassasta on kuitenkin huomattu, että hiilidioksidipäästökijät olivat korkeampia kuin raakabiomassassa. Tämä tulos johtuu siitä, että paahtamisessa muodostuu enemmän kiinteää hiiltä kuin mikä sen alkuperäinen hiilipitoisuus (kg/ GJ) on.^{24,36}

Vaikka torrefactioinnilla on paljon hyviä puolia, vaatii se kuitenkin suuria investointeja voimalaitoksilta vain jo laitteiston hankinnassa. Tasatakseen torrefactioinnin kustannuksia tarvitaan suuria määriä biomassaa poltettavaksi.²⁰

6. Polttotekniikat ja -tavat

Polttotekniikoita sekä kattiloita on voimalaitoksissa monia erilaisia kuten kierto- ja kerrosleijukattilat. Ne esimerkiksi soveltuvat parhaiten polttoaineille, jotka sisältävät paljon haihtuvia aineita sekä ovat erittäin kosteita, esimerkiksi liete, puu ja turve.⁷

Suomessa käytetään myös CHP- eli lämmön- ja sähkön yhteistuotantotekniikkaa (eng. Combined Heat and Power), sillä sen energiatuotannon hyötysuhde on todella korkea.²⁸

Muita nykyisiä biomassatekniikoita on muun muassa biomassan kaasuttaminen, anaerobinen ja terminen hajotus sekä biomassan polttaminen hiilen kanssa.¹

Lisäksi poltossa voidaan käyttää suojaolttoaineita, jotka sisältävät yhdisteitä, joilla on kattilaa suojaava vaikutus. Nimensä mukaan ne siis suojaavat kattilan rakenteita häiriöltä ja vaurioilta, kuten korroosiolta. Näistä tärkeimpiä ovat alumiinisilikaatit ja rikki, jotka pystyvät sitomaan alkaleita sekä muuttamaan alkalimetallikloridit haitattomaan muotoon. Suojaolttoaineista tärkeimpiä ovat turve ja kivihiili.

Suomessa voimalaitoksissa on yleisimmin käytössä seospoltto, jossa tavallisimmin poltetaan erilaisia puupolttoaineita ja turvetta sekaisin.⁷ CHP-tekniikat käyttävät myös seospolttoa yhtenä polttotapana.²⁸

6.1. Seospoltto

Seospoltolla tarkoitetaan polttotapaa, jossa useampaa polttoainetta poltetaan samanaikaisesti kattilassa. Seospoltolla pyritään vähentämään biomassan poltossa syntyviä kattilaa likaavia ja korrosiivisia alkalimetalliklorideja. Lisäksi koitetaan vähentää petijyvästen yhteen liimautumista, jota seurataan voimalaitoksissa yleensä seula-analyysien. Seospolton on todettu olevan kustannustehokas suojakeino näitä haitallisia vaikutuksia vastaan.⁷

Kun polttoprosessissa käytetään enemmän kuin yhtä polttoainetta, polttoaineiden keskimääräinen saatavuus helpottuu, kuljetusmatkat lyhenevät ja kustannukset vähenevät. Turpeen poltossa syntyvien rikki- ja CO₂ -päästöjen määrät vähenevät, kun osa polttoaineturpeesta korvataan puulla. Alkalimetallien ja kloorin aiheuttamat korroosio-ongelmat kattiloissa vähenevät, kun neulasia sisältävästä puupolttoaineesta osa korvataan turpeella, joka sisältää hieman enemmän rikkiä kuin puumateriaali (katso *reaktioyhtälö 12*). Turpeen kosteusprosentti on aina suhteellisen vakio, kun taas puumateriaali saattaa talvisin olla erittäin kosteaa. Kun puuta ja turvetta poltetaan yhdessä, se vakiinnuttaa polttoaineiden keskimääräisen kosteuden.⁹ Lisäksi seospoltossa lämpöarvot ovat korkeampia kuin pelkän raakabiomassan poltossa.²⁰

Seospolton yhteydessä voidaan puhua ”likaisista” ja ”puhtaista” polttoaineista, joiden ominaisuuksia tulisi ymmärtää. Sopivia niin kutsuttuja puhtaita polttoaineita ovat turve ja kivihiili, jotka sisältävät suuria määriä inerttejä yhdisteitä. Nämä reaktiokyvyttömät yhdisteet kuten alumiinioksidi (Al₂O₃) ja piidioksidi (SiO₂) eli kvartsi voivat toimia rikinpoistossa katalyyttinä.² Kivihiilellä ja turpeella on yleensä korkea rikkipitoisuus, mutta kun niitä seospoltetaan biopolttoaineiden kanssa vähenevät niistä vapautuvat kasvihuonekaasut (NO_x, SO₂, CO₂) merkittävästi.²⁰

Biomassan seospoltossa turpeen tai kivihiilen kanssa rikin oksidipäästöt (SO_x) vähenevät lähes aina. Typen oksidipäästöt (NO_x) sen sijaan voivat laskea, kasvaa tai pysyä samana, sillä vaikutus vaihtelee biomassatyyppien, käyttöolosuhteiden ja polttamisen mukaan. Puumassan polton yhteydessä syntyy vähemmän NO_x -päästöjä kuin turpeen poltossa, jonka vuoksi niiden seospoltto vähentää kokonaisuudessaan niiden yhteisiä NO_x -päästöjä. Ympäristöhyötyjä seospoltossa on SO_2 -, NO_x -, ja CO_2 - päästöjen pitoisuuksien vähenemisen lisäksi myös hivenmetallien kuten elohopean pitoisuuksien väheneminen.³⁷ Myös hiukkasten ja polyaromaattisten hiilivetyjen (PAH) määrä vähentyy seospolton yhteydessä. Lisäksi seospolton avulla voidaan polttoprosessia hallita paremmin.³¹

Kattila- ja voimalaitostyyppit vaikuttavat siihen millaisia ehtoja seospoltolla on ja siksi seospoltolle onkin kehitetty jo monia erilaisia tekniikoita. Pölypolttolaitokset sekä arinalaitokset asettavat suhteellisen tiukat ehdot seospoltolle, kun taas kerrosleijuja ja kiertoleijukattilat voivat käyttää laajastikin erilaisia polttoaineita seospoltossa.⁷ Seospoltossa tarvitaankin monenlaista teknologiaa. Teknologiassa täytyy ottaa huomioon biomassan sekoittaminen hiilipitoisen polttoaineen kanssa ja esimerkiksi biomassassa edistää kaasufaasipolttoa enemmän kuin kaasun kiintoaineiden hapettumista sillä niissä on erittäin hyvin haihtuvia aineita.⁷

Biomassan seospoltto hiilen kanssa on taloudellinen vaihtoehto energiantuotannossa ja siksi biopolttoaineiden poltto onkin koko ajan suuntautumassa enemmän seospolton suuntaan. Kustannukset riippuvat suurelta osin polttoaineen eli biomassan saatavuudesta ja läheisyydestä voimalaitokseen, sillä ne vaikuttavat kuljetuksen ja varastoinnin kustannuksiin. Seospolton kokonaiskustannukset ovat kuitenkin selkeästi alempia kuin pelkän raakabiomassan polton kustannukset.²⁰

Seospolton negatiivisia puolia ovat usein sitä ennen tehtävän esikäsittelyn aiheuttamat lisäkustannukset. Lisäksi on otettava huomioon savukaasujen, että tuhkien puhdistusjärjestelmä sekä palamisjätteiden ja tuhkien käyttö. Tuhkan laatuun vaikuttaa negatiivisesti biomassan kloori ja alkalimetallit. Palamattomat hiilen määrä saattaa myös kasvaa seospoltossa.³

7. Tulevaisuus ja yhteenveto

Biomassan polttaminen on tulevaisuudessa erittäin tarpeellista ympäristövaikutusten kannalta ja siksi sitä tulisikin kehittää entisestään. Vaikka täydellisen palamisen toimenpiteet ovat teoriassa hyvin tunnettuja, tarvitaan edelleen parannuksia polttotekniikkaan, kalusteisiin ja polttoainetuntemukseen. Lämmön talteenottoa voidaan myös kehittää vielä pitkälle.¹⁷

Näiden tekniikoiden kehittämisen jälkeen parannettavaa on vielä typen ja rikin oksidipäästöjen sekä poltossa vapautuvien hiukkasten vähentäminen. Lupaavimmat tekniikat päästöjen vähentämiselle on edistysellinen vaiheittain palaminen, polttoaineen stabiilius sekä erilaiset ilmanvaihtojärjestelmät.³

Seospoltosta puolestaan voidaan todeta, että se kehitys on kokonaisuudessaan vasta alussa. Sen selvistä eduista huolimatta tekniikoissa on vielä puutteita. Lisäksi monimutkaiset biomassakuljetuksien kustannukset, tuhkan myyntikelpoisuuden selvittäminen ja varmistaminen sekä mahdolliset ongelmat poltoissa ovat sen haasteita. Voiman ja sähköntuotannon tuleekin kiinnittää kaikki huomio teknisten, taloudellisten ja institutionaalisten ongelmien oikeisiin ratkaisuihin tulevaisuudessakin.³⁸

Suomi on ollut edelläkävijä vaihtoehtoisten energiatekniikoiden käyttöönotossa vuosien ajan, erityisesti vesivoiman ja biomassan käytössä. Hiilipohjaisten polttoaineiden korvaajiksi nousevat koko ajan vahvemmin tuulivoima sekä biopolttoaineet. Energiapolitiikan tavoitteena on lisätä uusiutuvien energialähteiden hyödyntämistä, jotta hiilidioksidipäästöt laskisivat. Onnistuneen energiapolitiikan tulisikin saavuttaa kolme keskenään hieman ristiriitaista ja haastavaa tavoitetta: puhdas, turvallinen ja halpa energia.²⁸

Suomalaisessa ilmasto- ja energiastrategioissa on tärkeä rooli uusiutuvilla energialähteillä (RES). 1970-luvulta lähtien Suomessa öljyn ja muiden fossiilisten polttoaineiden osuutta energiantuotannossa on onnistuttu vähentämään merkittävästi. Viime aikoina muutkin uusiutuvat energiamuodot, esimerkiksi tuuli- ja vesivoima, ovat panostaneet energiantuotantoon. Tavoitteena onkin, että vuonna 2025 noin puolet Suomen energiankulutuksesta tulisi uusiutuvista energialähteistä. Suunta on oikea, sillä vuonna 2010 siitä tuli noin 32,2%. Biomassa muodostaa RE-

lähteistä noin 86%, josta noin 70% bioenergiasta tuotti metsäteollisuus. Edistyksellisyydestä kertoo myös se, että Suomi on EU-maista kolmanneksi suurin biomassan sähkötuotannon kapasiteetista Ruotsin ja Saksan jälkeen.²⁸

8. Kirjallisuusviitteet

1. Demirbas, A. Sustainable cofiring of biomass with coal. *Energy Convers. Manage.* **2003**, 44, 1465-1479.
2. Theis, M.; Skrifvars, B. -.; Hupa, M.; Tran, H. Fouling tendency of ash resulting from burning mixtures of biofuels. Part 1: Deposition rates. *Fuel* **2006**, 85, 1125-1130.
3. Nussbaumer, T. Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction. *Energy Fuels* **2003**, 17, 1510-1521.
4. Demirbas, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Prog. Energy Combust. Sci.* **2004**, 30, 219-230.
5. Chen, W.; Annamalai, K.; Sundar, R. Combustion of pure carbon in the presence of H₂O and CO₂ using single and double film models. *Can. J. Chem. Eng.* **2018**, 96, 2564-2574.
6. Ogunsola, O. E.; Adeleke, O.; Aruna, A. T. In *In Wood fuel analysis of some selected wood species within Ibadan*; IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2018; Vol. 173.
7. Alakangas, E.; Hurskainen, M.; Laatikainen-Luntama, J.; Korhonen, J. Properties of indigenous fuels in Finland. *Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus* **2016**, 27-191.
8. Euroopan parlamentti. Euroopan Unionin virallinen lehti **2009**, L140, 16.
9. Hakkila, P. Factors driving the development of forest energy in Finland. *Biomass Bioenergy* **2006**, 30, 281-288.
10. Manzone, M. CO₂ emissions and energy consumption of loaders in woodchip loading operation. *Biomass Bioenergy* **2018**, 109, 10-15.
11. Baxter, L. L.; Miles, T. R.; Miles, T. R.; Jenkins, B. M.; Milne, T.; Dayton, D.; Bryers, R. W.; Oden, L. L. The behavior of inorganic material in biomass-fired power boilers: field and laboratory experiences. *Fuel Processing Technology* **1998**, 54, 47-78.
12. Alakangas, E.; Laatikainen-Luntama, J.; Korhonen, J.; Hurskainen, M. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. *Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus* **2016**, 27-191.

13. Aniszewska, M.; Gendek, A.; Zychowicz, W. Analysis of selected physical properties of conifer cones with relevance to energy production efficiency. *Forests* **2018**, *8*.
14. Raiko, R.; Saastamoinen, J.; Hupa, M.; Kurki-Suonio, I. *Poltto ja palaminen*; International Flame Research Foundation: Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, 2002; , pp 137.
15. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. **2006**, 3-4.
16. Nuutinen, L. The role of ash forming material in agglomeration during fluidised bed combustion of biomass fuel. *Department of Chemistry University of Oulu* **2003**, 20-31.
17. Jenkins, B. M.; Baxter, L. L.; Miles, T. R.; Miles, T. R. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology* **1998**, *54*, 17-46.
18. Leckner, B. Co-combustion - A summary of technology. *Therm. Sci.* **2007**, *11*, 5-40.
19. Nordin, A. Chemical elemental characteristics of biomass fuels. *Biomass Bioenergy* **1994**, *6*, 339-347.
20. Rokni, E.; Ren, X.; Panahi, A.; Levendis, Y. A. Emissions of SO₂, NO_x, CO₂, and HCl from Co-firing of coals with raw and torrefied biomass fuels. *Fuel* **2018**, *211*, 363-374.
21. Kistler, M.; Schmidl, C.; Padouvas, E.; Giebl, H.; Lohninger, J.; Ellinger, R.; Bauer, H.; Puxbaum, H. Odor, gaseous and PM 10 emissions from small scale combustion of wood types indigenous to Central Europe. *Atmos. Environ.* **2012**, *51*, 86-93.
22. Korpilahti, A. Finnish forest energy systems and CO₂ consequences. *Biomass Bioenergy* **1998**, *15*, 293-297.
23. Ilmasto.org Metaani. <http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/kasvihuoneilmio-ja-ilmastonmuutos/kasvihuonekaasut/metaani> (accessed 28.11., 2018).
24. Ren, X.; Sun, R.; Meng, X.; Vorobiev, N.; Schiemann, M.; Levendis, Y. A. Carbon, sulfur and nitrogen oxide emissions from combustion of pulverized raw and torrefied biomass. *Fuel* **2017**, *188*, 310-323.
25. Baxter, L. Biomass-coal co-combustion: Opportunity for affordable renewable energy. *Fuel* **2005**, *84*, 1295-1302.
26. Ravindra, K.; Sokhi, R.; Van Grieken, R. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. *Atmos. Environ.* **2008**, *42*, 2895-2921.

27. Helynen, S. Bioenergy policy in Finland. *Energy Sustainable Dev.* **2004**, 8, 36-46.
28. Aslani, A.; Naaranoja, M.; Helo, P.; Antila, E.; Hiltunen, E. Energy diversification in Finland: Achievements and potential of renewable energy development. *Int. J. Sustainable Energy* **2013**, 32, 504-514.
29. Lake, A.; Rezaie, B.; Beyerlein, S. Review of district heating and cooling systems for a sustainable future. *Renewable Sustainable Energy Rev* **2017**, 67, 417-425.
30. Skrifvars, B. -.; Backman, R.; Hupa, M.; Sfiris, G.; Åbyhammar, T.; Lyngfelt, A. Ash behaviour in a CFB boiler during combustion of coal, peat or wood. *Fuel* **1998**, 77, 65-70.
31. Sahu, S. G.; Chakraborty, N.; Sarkar, P. Coal-biomass co-combustion: An overview. *Renewable Sustainable Energy Rev* **2014**, 39, 575-586.
32. Tiainen, M.; Daavitsainen, J.; Laitinen, R. S. The role of amorphous material in ash on the agglomeration problems in FB boilers. A powder XRD and SEM-EDS study. *Energy Fuels* **2002**, 16, 871-877.
33. Nuutinen, L. H.; Tiainen, M. S.; Virtanen, M. E.; Enestam, S. H.; Laitinen, R. S. Coating layers on bed particles during biomass fuel combustion in fluidized-bed boilers. *Energy Fuels* **2004**, 18, 127-139.
34. Karhu, H. Puu- ja turveperäisen lentotuhkan laadun vaihtelu, Oulun yliopisto, 2011.
35. Tullin, C.; Ljungström, E. Reaction between Calcium Carbonate and Sulfur Dioxide. *Energy Fuels* **1989**, 3, 284-287.
36. Robinson, A. L.; Junker, H.; Baxter, L. L. Pilot-scale investigation of the influence of coal-biomass cofiring on ash deposition. *Energy Fuels* **2002**, 16, 343-355.
37. Tillman, D. A. Biomass cofiring: The technology, the experience, the combustion consequences. *Biomass Bioenergy* **2000**, 19, 365-384.
38. Tillman, D. A. Cofiring benefits for coal and biomass. *Biomass Bioenergy* **2000**, 19, 363-364.

9. Liitteet

1. Kuvakaappaus: Ilmasto.org *Metaani*.
<http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/kasvihuoneilmio-ja-ilmastonmuutos/kasvihuonekaasut/metaani> (accessed 28.11., 2018)

ilmasto.org

Tykkää 1,1 t.

BLOGI

VAIKUTTAMINEN

ILMARI

ILMASTONMUUTOS

ILMASTOPOLITIikka

Blogi

Vaikuttaminen

Ilmari

Ilmastonmuutos

Lyhyesti

Perusteet

Kasvihuonekaasut

Hiilidioksidi

Metaani

Muut kaasut

Epäsuorasti vaikuttavat kaasut

Tulevaisuuden arviointi

Seuraukset

Ratkaisut

Ilmastotiede

Usein kysytyt kysymykset

Ilmastopolitiikka

Metaani

Näitä sivuja ei ole päivitetty ajantasalle tällä hetkellä. Ajantasaista tietoa löytyy esim. www.ilmasto-opas.fi -sivustolta.

Metaani (CH₄) on toiseksi merkittävin ihmisen tuottama kasvihuonekaasu. Se on hiilidioksidiä lyhytikäisempi, mutta sen kasvihuonevaikutus on lyhyellä aikavälillä monikymmenkertainen hiilidioksidiin verrattuna. Metaanin pitoisuus ilmakehässä on noussut ihmisen toiminnan takia esiteollisen ajan 715 ppb (parts per billion) pitoisuudesta 1774 ppb:n pitoisuuteen. (IPCC 2007.)

Metaani on voimakas, mutta lyhytikäinen kasvihuonekaasu

Maailmanlaajuisista 582 miljoonan tonnin vuotuisista päästöistä ihmisen aiheuttamia on yli 60%, joka vastaa 7,9 miljardia tonnia hiilidioksidiä. Reilu 14% ihmisten tuottamista kasvihuonekaasupäästöistä on metaania. Kuva 8 esittelee ihmisen aiheuttamia metaanipäästöjä.(IPCC 2007.)

GICQ-päästöt

1970

1980

1990

2000

2004

Teolliset prosessit, savainnin poltto

Eläin

Metsäkeuhkaus

Energian tuotanto

Kuva 8. Globaalit metaanipäästöt vuosina 1970-2004.

Taulukko 8 puolestaan esittää metaanin luonnollisten lähteiden osuuksia ja vuotuisia määriä.

Metaani (ppb)

2000

1500

1000

500

0

10000

5000

0

Aika (ennen v. 2005)

Säteilypakote (W/m²)

0.4

0.2

0

Kuva 7. Metaanipitoisuuden vaihtelu ilmakehässä viimeisen 10 000 vuoden aikana (iso kuva) ja vuodesta 1750 nykypäivään (pieni kuva).

Taulukko 8. Metaanin luonnolliset lähteet

| Lähde | Osuus | Määrä |
|-------------------|-------|--------|
| Suot ja kosteikot | 0,72 | 115 Mt |
| Termitit | 0,13 | 20 Mt |
| Valtameret | 0,1 | 19 Mt |
| Muut | 0,09 | 15 Mt |

Lähde: IPCC 1996

Suomen vuotuiset metaanipäästöt vastaavat yhteensä viittä miljoonaa tonnia hiilidioksidia. Päästöjen jakautuminen esitetään taulukossa 9. Määrät on muutettu laskennallisesti hiilidioksidiksi (MtCO₂ eli miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenteina päästöinä sadan vuoden ajalta).

Taulukko 9. Suomen metaanipäästöt

| Lähde | Osuus | Määrä |
|--------------------------------------|-------|-----------------------|
| Kaatopaikat ja jäteveden puhdistus | 0,53 | 2,6 MtCO ₂ |
| Karjatalous (märehäytminen ja lanta) | 0,38 | 1,9 MtCO ₂ |
| Energiantuotanto | 0,09 | 0,5 MtCO ₂ |

Lähde: Tilastokeskus 2006

Vaikka metaanin pitoisuus ilmakehässä on vain alle kaksi tilavuusmiljoonasosaa (0,0002 %), se vastaa lähes viidenneksestä kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutuksesta. Metaanin lämmityspotentiaali (GWP100) on 23, josta suora vaikutus eli maapallon lämpösäteilyn pidättäminen muodostaa 7,5. Loppuosa vaikutuksesta aiheutuu epäsuorasti, kun metaani reagoi alailmakehässä hydroksyyli-ionien kanssa muodostaen otsonia, joka on myrkky ja kasvihuonekaasu, ja yläilmakehässä muodostaen vesihöyryä, joka on kasvihuonekaasu.